

最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点の形成

① 計画の概要

プラズマ【ラジカル、イオン、電子、光の集合体】は、産業、農水産、健康などのほぼ全産業を支え、新たな価値を創出、グリーン・ライフ及び安心・安全イノベーションを先導する最重要科学技術である。プラズマ科学は、多様な学術領域を横断、融合し、未来技術や社会を変革する未踏の学際領域である。我が国には、名古屋大学に55年に亘るプラズマ科学研究の伝統があり、国内唯一の産業・医療・農水業応用の大型研究開発拠点として国際共同利用施設「プラズマ科学プラットフォーム」が設立され、オープンイノベーションおよびオープンサイエンスを目指した教育研究拠点として世界を先導している。本計画では、該プラットフォームとサテライト機関（九州大学、東京大学、東北大学）の機能強化を図り、国内外の連携機関をICTで繋ぎ、共同利用システムとしての「最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点(PGI)」を構築する。世界の研究者が集まるインフラとするように、研究開発装置群をICTで繋げた国内外ネットワークと国際標準化を構築するシステムを整備する。教授・准教授、研究員を国際公募して雇用すると共に、設備運営の高度技能組織を整備する。知財創出と成果の国際標準化推進支援の専門家を雇用する。知財・技術移転戦略を策定し、成果を産業に迅速に展開、活用する産官学連携組織を整備する。地域創生推進と社会科学など多様な文化の導入により未来社会を創造する拠点へと発展させ、地球規模の課題解決のために、世界中から知恵、人、モノが循環するシステムを構築する。

② 目的と実施内容

本計画では、研究開発の中心を「プラズマ科学プラットフォーム」に置き、他機関との連携システムを構築することで、イノベーション創成とともに、その成果が社会イノベーションへと進展する拠点を構築する（添付図を参照）。これにより、新たな学際的融合領域『プラズマ生命科学』、『プラズマ環境エネルギー科学』、『プラズマ材料デバイス科学』を先導して未来産業を創造する。そのために新たなネットワークやIOTを用いて、多様な科学分野を融合し、社会変革に繋げていく戦略的マネジメントの導入、高度技能者の組織化により産官学が共創してイノベーションを起こすシステムを構築する。また、知財・技術移転戦略を産業に迅速に展開、国際的に活用する支援体制を強化する。プラズマ装置群インフラを先進ICTを用いて国際共同利用するネットワークを構築し、世界中から知恵、人、モノが循環するシステムを構築する。

③ 学術的な意義

プラズマと物質や生体との相互作用が創出する「非平衡・物理化学反応場」において、1) 反応活性種の生成・分布制御、2) 表面反応場の制御原理、3) 選択反応・自己組織化原理、4) 共通基盤技術（時空間計測、シミュレーション）、5) 原子分子素過程・表面反応基礎データベースの集積を通して、産業応用に直結する「プラズマ科学」として体系化する。産業や医療応用のプラズマ技術や独創的な装置の創製により、最先端プラズマ科学の深化と科学に基づくグローバルイノベーションの創出を行う。即ち、学際領域の境界を破り、融合させ、グローバルイノベーションに対する普遍的な新学理「プラズマ科学」を確立し、産業を通じて人類の持続的な発展に貢献することを理念とする。内外の複数機関との有機的な連携の司令塔として、世界から人、モノ、知恵が結集し、循環させる最先端プラズマ科学グローバルイノベーション研究拠点を形成する。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

プラズマ科学技術では日本が世界トップにある。従って、国際的な競争と協調の中でプラズマ科学の深化とグローバルイノベーションを創成し、学理および革新的応用で高い優位性を常に確保し、日本がリーダーとして人類の持続発展に寄与し続けることが期待されている。ほぼ全産業を支えるプラズマ科学技術のボトムアップを図ることがイノベーションに直結する。従って、海外ではプラズマ科学技術の推進が戦略的に遂行されている。独、英、米、豪、台湾、シンガポールでは、プラズマ科学技術に関する国家プロジェクトや新センターが設立されている。韓国では最近プラズマセンターが5つ設立された。我が国も、プラズマ科学・イノベーションを先導する国際的なプラットフォームを構築し、ICT導入により、プラズマ科学の国際的な標準化を協創するスキームが一刻も早く必要である。本計画は、このような動向を鑑み、14年前から名古屋大学が中心となり東海地域の産官学機関、全国の公的機関、応用物理学会、学術振興会等と共に準備を進めてきた。

⑤ 実施機関と実施体制

主な実施機関：名古屋大学のプラズマナノ工学研究センターとプラズマ医療科学グローバルイノベーションセンターを基に、全学組織へと拡張した「プラズマ物質科学融合システム研究所」を中心機関とし、九州大学、東京大学、東北大学と連携した新拠点「最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点(PGI)」を構築し、国内プラットフォームを一層強化して事業推進する。愛知県、名古屋市、岐阜県および東海地域を始め国内(28箇所)および海外(23箇所)の大学等と構築したプラズマ科学ネットワークを基軸に、サテライトや連携機関を整備し、日本をリーダーとする世界的な連携による研究推進体制を構築する。サテライト設置機関：九州大学・プラズマナノ界面工学センター、東京大学、東北大学、成均館大学校（韓国）、ルール大学ポツダム校、低温プラズマ物理学研究所（独）、ミシガン大学、蘭FOMプラズマ物理研究所、ケンブリッジ大学、テキサス大学先進材料プロセッシング国際センター、豪連邦科学研究機構、グルノーブル原子力研究所、中国科学院

その他連携機関：近隣の5大学、核融合科学研究所、他海外4大学、6機関

⑥ 所要経費

総額 95 億円（施設の建設：0 億円、初期設備導入：20 億円、人件費・運営費：7.5 億/年、10 年間）

設備（初期導入設備：20 億円）：「計測科学」と「プラズマ科学」の融合によって創製する世界唯一の国際共同利用装置「超高精度プラズマ気相・表界面反応計測システム」、名古屋大学で提唱し創製した究極の装置「自律型プラズマ製造装置」（自分で考える製造装置）に AI 等を導入して、更に進化させた未来型プラズマ製造装置群を拠点の中心に置く。世界から研究者が集まるインフラ機能を果たすように、これら装置群を ICT で繋げた国内外ネットワークと国際標準化構築のシステムを整備する。人件費：教授・准教授、研究員を国際公募すると共に、設備運営に技術者、さらに知財と国際標準化推進の専門家を雇用する。運営費：国内連携拠点と海外拠点の連携強化のため、サテライト機関への学生及び研究者の派遣、受入れを行う。ICT を用いた新規システムによって国内外の大学及び企業の研究者が PGI やネットワークを有効活用できる環境を整備する。

⑦ 年次計画

H23～27 年で、第一期プラズマナノ科学の創成が終了し、H28～37 年を第二期プラズマ科学の進化と位置づけ、事業計画のロードマップを作成し、すでに事業を推進している。第一期で、名古屋大学に「プラズマ科学プラットフォーム」(2000m²) を創設した。多様なプラズマ装置群を整備し、プラズマ科学を実践する基盤を確立した。第二期では、本申請の学術の大型研究計画においては、次の年次計画で実行する。

H28 年度：サテライト、連携機関との協力体勢に基づき、全体詳細連携研究推進計画を策定し、「最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点(PGI)」の国際共同利用施設の具体的なグランドプランを作成する。

H29、30 年度：PGI への設備導入、ICT を用いた PGI の国際共同利用施設としての研究ネットワーク構築

H31、32 年度：産官学連携によるグローバルイノベーションおよびオープンサイエンス・イノベーションとして共創の推進

H33～35 年度：国際企業間ネットワークの強化と国際標準化、地域連携推進と人文社会科学など多様な文化の導入による未来社会創造基盤の構築、AI および ICT を導入した学際科学を機軸とした高効率イノベーション創出システムの構築

H36、37 年度：ポスト PGI の基本計画策定、予算手配、世界拠点ネットワークの改編、強化、第二期終了

⑧ 社会的価値

プラズマ科学技術は、グリーン、ライフ、安全安心イノベーションに亘り未来産業を創造する。例えば、次世代の車、飛行機、ロケット、住宅・固体照明、パワーエレクトロニクス、スマートフォン、高効率太陽電池・燃料電池、食の安全の確保、食糧不足の解消、次世代のがん治療、次世代農水産システムなど国民の活力向上に繋がるグローバルイノベーションである。名古屋大学の拠点は、学術論文（5 年間で 326 件）、国際会議発表数で世界のプラズマ機関の中で第一位にある。当拠点周辺に、大学 13、研究機関 8、企業 539、技術移転機構のプラズマ技術産業応用センター（会員 318 社、720 人が参画）のネットワークに加え国内 28 大学、核融合科学研究所との連携など「知と産業の集積」がある。知的財産（出願 565、登録 93）は公的機関での評価一位、特許収入があり、プラズマ機軸の大学発ベンチャー企業 5 社が独創的製品で事業展開している。

⑨ 本計画に関する連絡先

堀 勝（名古屋大学・未来社会創造機構）



宇宙探査ミッションを支える宇宙技術実証プログラム

① 計画の概要

本計画は、宇宙探査ミッションに必須の技術を宇宙実証によって獲得する。具体的には、太陽系の任意の天体に対して長期間表面探査を行い、地下試料を持ち帰るために、(1)重力天体突入・降下・着陸&長期表面探査技術、(2)外惑星領域往復&地下試料採取技術を実証する。(1)に対応するのが月面長期探査と火星探査、(2)に対応するのが木星トロヤ群小惑星探査と土星衛星エンセラダス探査であり計4つのミッションを宇宙実証プログラムとして実施する。さらに、貴重な飛翔機会を活用して科学成果も追及する。宇宙基本計画において、宇宙探査活動は「宇宙科学等のフロンティア」として重点課題に位置付けられ、人類の活動領域の拡大および世界第一級の宇宙科学を実現することで我が国のプレゼンスを發揮する。幅広いコミュニティの総意として本計画を進め、日本が太陽系探査を先導する。

本計画では、宇宙航空研究開発機構が中心となり、探査機開発・打ち上げ・運用を行う。全国の大学および研究所の研究者も多数参加する。本計画の総経費は1600億円である。4回の打ち上げはH34~H45を想定している。いずれも国際協力により進める。かぐや、はやぶさ、IKAROS等の成功を受けて、未踏峰領域への探査ミッションに対する国民の期待と理解が、これまでになく高まっている。固体惑星や太陽系小天体についての理解を深めることは科学的意義だけでなく、科学啓蒙や科学教育全般に非常に有益である。本計画は非常に幅広い総合的なシステム工学であり、幅広い技術から構成されるため、裾野の広い産業をけん引し、社会的価値の高い応用を生み出す可能性が高い。世界第一級の技術実証、科学成果を追及しており、これらの活動を通して多くの人材育成も可能である。

② 目的と実施内容

本計画は、人類の活動領域拡大や英知を高める宇宙科学等に寄与する宇宙探査ミッションに必須の技術を宇宙実証によって獲得することを目的とする。貴重な飛翔機会を活用し科学成果も追及する。従来探査機で実証した技術を踏まえ、(1)重力天体突入・降下・着陸&長期表面探査技術、(2)外惑星領域往復&地下試料採取技術を実証することで、太陽系の任意天体の探査・試料獲得が可能となる。これら2セットの技術実証計画をコミュニティの総意で進める。

(1)科学技術や社会経済の発展に伴い、太陽系の他の天体表面に到達し直接探査することで、地球に対する理解や認識を深め、人類の活動領域として取り込みたいという望みは、科学者のみならず一般国民の間でも一層強まってきている。これには、天体表面、特に大気を持つ天体表面に直接アクセスするための突入・降下・着陸技術、月・惑星表面で移動し、様々な作業を行う表面探査ロボット技術、環境の厳しい月・惑星表面で長期にわたって活動するための越夜技術やエネルギー供給技術は必須の基幹的技術である。

(2)深宇宙航行技術の重要課題である、燃料の節約と電力の確保を解決するために「ソーラー電力セイル」を活用する。これはセイルに薄膜太陽電池を貼り付けることで、光子加速と同時に太陽光発電も行う日本独自のアイデアである。本計画ではこの電力を用いて高比推力イオンエンジンを駆動することで、ソーラーセイルと合わせたハイブリッド推進を実現し、木星圏・土星圏等の太陽系外惑星領域への往復探査を世界で初めて可能とする。木星トロヤ群小惑星探査では、親機の代わりに子機が着陸し、地下試料採取・その場分析を行う。離陸した後、親機にランデブー・ドッキングして、サンプルを引き渡す。土星衛星エンセラダス探査では、フライバイによる地下試料採取を行う。いずれも地球帰還後には試料回収・キュレーション・分析等を実施する。

③ 学術的な意義

(1)重力天体突入・降下・着陸&長期表面探査技術実証で、総合的な工学技術を体系的に獲得できる。具体的には、突入技術(エアロブレーキ、エアロキャプチャ、耐熱シールド、慣性航法誘導、姿勢制御等)、降下技術(パラシュート、パラフォイル、逆噴射エンジン、高精度航法誘導制御、自己位置同定、高度計・速度計、画像計測、空力制御等)、着陸技術(障害物検知回避、機体構造、着陸脚、エアバック等)、表面探査ロボット技術(走行、飛行機、環境認識、高度自律制御、ロボットアーム、掘削等)、越夜・長期滞在技術(断熱、熱制御、高密度電池、無線エネルギー伝送等)があげられる。理学観測は、火星の生命や表層環境(地質や気象)などハビタビリティの理解につながる科学、固体惑星・衛星の誕生と発達を理解につながる内部構造科学、などが科学コミュニティにより準備されている。また、将来人が滞在するための環境調査や資源利用実証など利用可能性調査(水氷などの利用可能資源、放射線、地盤、ダスト等)が世界的に検討されている。これらの科学成果は月や火星を「人類の活動の場」にするための基礎情報となる。

(2)外惑星領域往復&地下試料採取技術実証では、大型膜構造の収納・展開・展張、薄膜発電システム、姿勢制御デバイス、高比推力イオンエンジン、低推力推進機関による軌道操作技法等のソーラー電力セイル技術に加え、低温動作可能な二液推進機関、遠距離高精度軌道決定、地下試料採取、その場分析、子機の着陸、ランデブー・ドッキング、超高速減速技術、惑星検疫、キュレーション技術も併せて実証する。科学的成果としては、木星トロヤ群小惑星探査により太陽系形成論における巨大ガス惑星の軌道移動仮説の解明、土星衛星エンセラダス探査により氷衛星の地下海で起きている物質進化的な解明を行う。また、深宇宙巡航飛行環境を利用した科学観測を行い、太陽系科学、天文学、宇宙物理学の大きな進展にも寄与する。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

宇宙基本計画において、宇宙探査活動は「宇宙科学等のフロンティア」として重点課題に位置付けられ、人類の活動領域の拡大および世界第一級の宇宙科学を実現することで我が国のプレゼンスを発揮する。理学・工学双方の幅広いコミュニティの総意として本計画を進める。

(1) 米露は本技術を確立しており、欧中印などの諸国も、この技術獲得に向け精力的に月や火星探査を実施または計画している。これに比べ、我が国の月・惑星長期表面探査への取り組みは遅れているが、低軌道や小惑星において特定の要素的技術を獲得している強みを生かして、単なるキャッチアップでなく、本格的探査に向けた安全確実な着陸、地形照合が難しい月極域への着陸技術、エアロキャプチャといった世界初の挑戦的課題に取り組むことで本技術実証を行う。

(2) 米露は月面、太陽風、彗星塵のサンプルリターンを実現した。一方、日本ははやぶさでイオンエンジンによる近地球型小惑星の往復を行い、表面試料を取得した。また IKAROS で初めてソーラー電力セイルを実証した。本計画では、ソーラー電力セイルにイオンエンジンを組み合わせることで木星圏・土星圏の往復を実現し、地下試料の採取も行う。

⑤ 実施機関と実施体制

宇宙航空研究開発機構が中心となり、探査機開発・打ち上げ・運用を行う。海洋研究開発機構の知見も加えることで、サンプル回収および惑星検疫・キュレーション・初期分析施設の基盤整備を行う。多数の大学・研究所の研究者も本計画に加わる。

⑥ 所要経費

総経費：1600 億円

(1) 火星探査技術実証ミッション：360 億円，月面長期探査技術実証ミッション：460 億円

(2) 木星トロヤ群小惑星探査技術実証ミッション：300 億円，土星衛星エンセラダス探査技術実証ミッション：480 億円

⑦ 年次計画

火星探査技術実証ミッション

ミッション検討：[^]H28 基本設計：H29[~]H30 プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H31[~]H32
 詳細設計，フライトモデル製作：H33[~]H34 総合試験：H35[~]H36 打ち上げ・着陸：H36 運用：H37

月面長期探査技術実証ミッション

ミッション検討：[^]H28 基本設計：H28[~]H29 プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H29[~]H31
 詳細設計，フライトモデル製作：H32[~]H33 総合試験：H33[~]H34 打ち上げ・着陸：H34 運用：H35

木星トロヤ群小惑星探査技術実証ミッション

ミッション検討：[^]H29 基本設計：H29[~]H30 プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H30[~]H32
 詳細設計，フライトモデル製作：H31[~]H33 総合試験：H33[~]H34 打ち上げ：H34 木星トロヤ群小惑星到達：H45
 地球帰還：H61

土星衛星エンセラダス探査技術実証ミッション

ミッション検討：[^]H40 基本設計：H40[~]H41 プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H41[~]H43
 詳細設計，フライトモデル製作：H42[~]H44 総合試験：H44[~]H45 打ち上げ：H45 土星衛星エンセラダス到達：H55
 地球帰還：H65

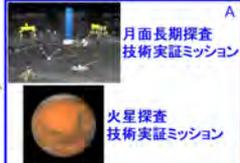
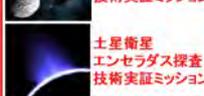
⑧ 社会的価値

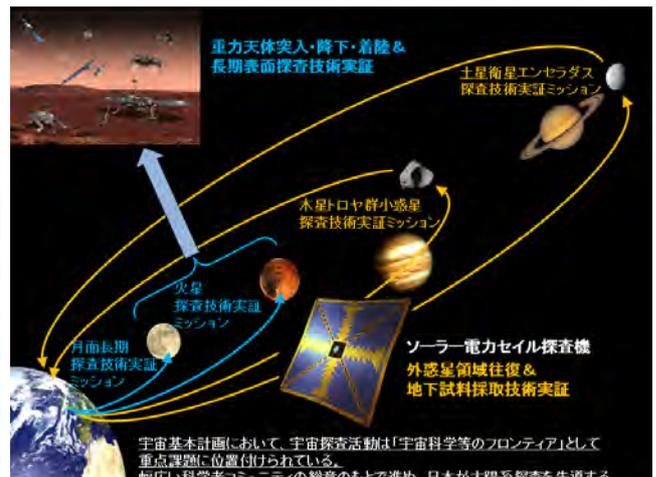
かぐや、はやぶさ、IKAROS 等の成功を受けて、未踏峰領域への探査ミッションに対する国民の期待と理解が、これまでになく高まっている。固体惑星や太陽系小天体についての理解を深めることは科学的意義だけでなく、科学啓蒙や科学教育全般に非常に有益である。さらに、人類の活動領域の拡大、スペースガード、資源利用、有人探査のターゲット等非常に多くの意義・価値がある。本計画は非常に幅広い総合的なシステム工学であり、幅広い技術から構成されるため、裾野の広い産業をけん引し、社会的価値の高い応用を生み出す可能性が高い。例えば個別技術としては、宇宙用ロボット技術は製造業や防災・減災への応用、薄膜太陽電池はグリーンイノベーションへの貢献、宇宙用ポリミドは複合材などの民生応用、遠隔操作技術は遠隔医療への応用、耐放射線機器開発は SOI など新電子デバイス開発など、非常に多くの分野に貢献できると考えられる。本計画は、世界第一級の技術実証、科学成果を追及しており、これらの活動を通して多くの人材育成も可能である。

⑨ 本計画に関する連絡先

森 治 (宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所)

技術分野	すでに実証した技術項目	本計画で実証する技術項目
相対運動	重力天体周回(かぐや) 小天体降下・着陸(はやぶさ)	重力天体突入・降下・着陸(A)
観測	リモートセンシング(かぐや、はやぶさ)	長期表面探査(A)
航行	イオンエンジンによる内惑星領域往復(はやぶさ) ソーラーセイルによる内惑星領域航行(IKAROS)	ソーラーセイル&イオンエンジンによる外惑星領域往復(B)
試料採取	表面試料採取(はやぶさ)	地下試料採取(B)



レジリエントな都市における巨大構造物の要素の破壊と脆弱性を実寸法で評価できる 世界最大容量の3方向動的加力装置および実験施設

計画の概要

超高層建築など巨大な建設物が増え続けており、それらの重力を支える構造部材は、激しい地震では、これまでの実験施設で再現できないほど膨大な鉛直力と水平力を受ける。構造部材が高耐力で大型になるほど、設計時に想定したものと大きく異なる応力集中が生じ、構造部材の破壊ひいては巨大建設物の崩壊という大惨事に至る恐れがある。革新的な構造部材・材料が日本で開発・適用されているが、それらを実大規模で実証する加力装置は日本に存在しない。そのため、比較的大きな実験設備を有する米国や台湾で行わざるを得ないケースが発生していた。

そこで、実大実験データのない多くの高耐力部材を実寸法で動的に破壊できる載荷装置（図1参照、鉛直力12,000トン、2方向水平力1,200トン・600トン）を整備し、実験研究を行う。実際の大規模建物の免振装置、柱、壁の破壊を再現するなど、不可能だった破壊実験が可能になり、本施設が国内外の建築・土木実験研究ハブとなると期待される。

本施設は、防災科学技術研究所の大型施設E-ディフェンスで可能な鉛直力の10倍の容量をもち、40～50階建ほどまでの建物の重要構造部材に、膨大な荷重やねじりも含む様々な変形を強制的にかけるものである。そのためE-ディフェンスと機能は全く重複せず、建設費は約10%の規模で、同様に世界の注目を浴び、多くの国際共同研究をもたらすと思われる。

2015年末に、本施設に関し開かれたシンポジウムでは、施設の設置を一刻も早く実現して欲しいとの要望が、210名の参加者から一致して寄せられた。

本施設は、共同利用研究を19年間実施してきた東工大先端無機材料共同研究拠点の構成メンバーである未来産業研究所・都市防災研究コア（UDPRC）の教員グループが運営する。

目的と実施内容

本計画の目的は、巨大建設物の高耐力大型部材の実大実験を可能とする大容量動的加力実験施設を日本に築くことで、各種部材の脆弱性の把握と破壊現象の解明を行うことである。実務が研究に先行して盛んに用いられている各部材の破壊過程が本施設により解明され、研究・開発の飛躍的な進展、技術の健全な普及、ひいては安心安全な建設物と社会の実現に大きく貢献する。日本の学問と技術の水準を高く保つことができ、その結果、海外に対し学問と実務の両面で貢献できる。

実際の建設物で使用されているが実大実験データの無い多くの高耐力部材を考慮し、実寸法で部材の性能確認を行える鉛直力（12,000トン）2方向水平力（1,200トン、600トン）の動的載荷能力を本施設で実現する。地震時挙動の評価のため、3方向の同時加力が必要である。重要度が高く、実験が今すぐにも必要な部材の種類は数多い。

具体的には、高圧縮力下で水平2方向に大変形する様々な免震支承の実大実験、日本の高層・超高層建物で使用頻度が高く、高強度コンクリートと高張力鋼を用いたCFT柱の高軸力2軸曲げ実験、阪神大震災時に脆性破壊した厚肉大断面鋼柱の高引張り力と2軸曲げ実験、首都圏に存在する既存コンクリート系高層建物低層部の柱の高軸力2軸曲げせん断実験、コンクリート耐震壁の曲げせん断性能評価実験などが緊急の検討として挙げられる。

UDPRC（、参照）の教員が、長年の共同利用研究拠点の活動で連携した国内外の多くの研究者に対し実験データの活用を促すとともに、様々な共同研究を企画遂行する。成果を建築・土木構造分野の設計指針に取り込むことで社会に還元する。

学術的な意義

安全な構造物の実現には、理論研究のみならず、実験研究によりその挙動を精確に把握することが重要である。例えば構造部材が大型化すると、ひび割れなどの欠陥が存在する確率が高くなり、脆性破壊の危険性が飛躍的に高くなる。巨大建設物における大断面の部材に大きな力を均質に伝達させることは難しく、局所的な破壊が部材耐力を決定づけるため、材料力学に基づいた耐力が発揮できず、いわゆる寸法効果が生じる。

これにも関わらず現状では、実験施設の能力限界により、縮小試験体の実験結果をもとに、スケール効果が曖昧のまま工学的判断を盛り込んで、様々な構造規定を設けている。阪神淡路大震災で高層住宅の厚肉鉄骨柱が脆性破壊したが、その後十分な検証がなされないまま、大型構造部材を使用した高層建築が建て続けられている。また杭や基礎の地震被害もこれまでに多く報告されているが、実大規模での実験的検証はなされていない。

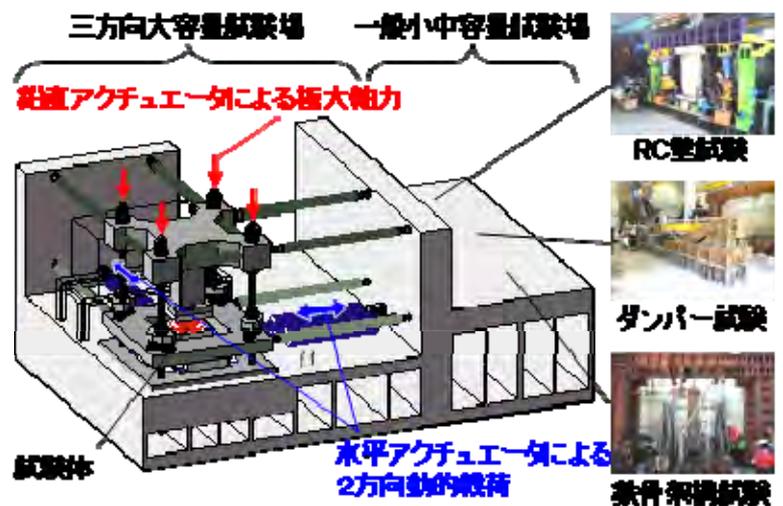


図1 世界最大容量の3方向動的加力装置の概要

構造物の大規模化、高軸力化が進む中、実大規模での性能確認は実務面で緊急に必要であり、かつ学問的にも必要不可欠である。特に、地震時に作用する応力状態・変形状態を再現する高軸力下で2方向水平力を加える実験が必須である。地震時の大規模かつ複雑な応力条件を再現した実験は、本申請施設によりはじめて可能となる。

E-ディフェンスは6階建ほどまでの実寸建物の振動が実験できるが、本施設は40～50階建ほどまでの建物の重要構造部材に、膨大な荷重やねじりも含む様々な変形を強制的にかけて破壊実験ができる。本施設の極限の試験能力は、15年間ほど世界一である米国施設を大きく上回り（参照）、世界の構造工学の進歩、安全安心な社会の実現に大きく貢献できる。

国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内では鉛直力が鹿島建設で4,000トン、竹中工務店で3,000トンの水平1方向のみの載荷装置があるが、地震時の再現のために必要な水平2方向の載荷装置としては、現在まで15年間世界一のカリフォルニア大サンディエゴ校（UCSD）の装置がある。鉛直力の容量は圧縮5,300トンと大きいのが、引張実験（前述）や免震支承程度以上の高さの試験体の実験はできない。イタリアの同程度の規模・性能の装置、中国で圧縮容量を10,600トンまで高めた装置もある。

これらに対比し、本装置は鉛直圧縮12,000トン、特別な設計により引張6,000トンも可能であり、かつ長周期・長時間地震時の再現ができる吐出量も有しており、コストはかなり抑えられている。以上から本施設は、今後10～20年は世界最大規模かつ多様な実験ができるものとして、最も重要な構造データを世界に発信し、構造工学の発展に著しく貢献すると思われる。

実施機関と実施体制

南海・東南海トラフ地震で大きな被害を受けられる地域の8大学、大手ゼネコン研究所や、建築研究所・土木研究所など政府系研究所を実施機関とし、学術協会や海外研究機関を含めた産官学共同研究体制を実施体制とする。

実施の中心機関は東工大であり、建築工学、土木工学、機械・精密工学、原子力工学における構造工学を専門とする40名を超える教員の参加を予定している。日本最大のこの構造工学研究グループが、広範な構造実験研究、共同利用研究の企画と実施を行う。中核となるのがUDPRCの教員11名であり、取り纏めと運営を、三方向大容量試験場の運営機関（参照）と一部共同で行う。UDPRCは長年の共同利用研究活動により国内外の多くの研究者と繋がっており、実験データの活用、共同研究を促す役目も担う。建築構造分野の各種監修指針の作成を主導的立場で行ってきた経験から、研究成果の社会実装の仕組みも築く。

所要経費

10年間の予算総額は88.4億円（直接：68億円、間接：20.4億円）である。直接経費は建物設備64億円（反力床と壁を有する実験室14億円、防音防振対策2億円、載荷アクチュエータと油圧源41億円、支持鉄骨7億円）、10年間の人件費3.3億円（特任教授・准教授・助教各1名、技術職員1名）とする。三方向大容量試験場（図1参照）の運営経費には、多くの企業の検証・認定実験から得る収入をあてるため、外部機関にその部分の運営を委託する。したがって、一般小中容量試験場の運営費0.7億円（機器維持管理費0.3億円、旅費0.2億円、消耗品0.2億円）とする。

三方向試験装置の世界最大の鉛直力は自己釣合式としたため、反力床・壁は水平力のみ能耐えられるよう設計できた。動的アクチュエーターを3軸方向に効率よく設置し、大容量の割に非常にコンパクトな装置とした。水平2方向載荷に鉛直圧縮力をかける場合、既往装置では水平方向の摩擦力が生じ、その精確な計測ができないが、本装置ではこれを解決している。かつ6,000トンの鉛直引張り力や、上背のある試験体も実験できる高性能装置として、非常に経済的である。

年次計画

1～2年目：効率的・実践的な施設設計となるよう実験施設の建築計画を策定し、施設と載荷装置を建設する。

3～4年目：実験設備の校正を兼ね、施設の最大載荷能力を使う実験を行う。阪神大震災で破断した高層鉄骨系建築物柱や首都圏にあるコンクリート系高層建築物柱の高軸力2軸曲げせん断実験を行う。国内研究機関との共同研究課題を具体化させる。

5～6年目：日本で多用される免震建物を支える実大の積層ゴムとCFT柱の高軸力2軸曲げ実験を行う。2010年チリ地震や2011年NZ地震で問題化したRC造耐力壁の曲げ圧縮破壊を実大モデルで再現する。海外研究施設との共同研究課題を具体化させる。

7～8年目：高引張り力下での安全性が未検証な免震構造用スライダース支承と引張軸力および2軸曲げを受ける鉄骨接合部の実大実験を行う。また、杭の実大曲げせん断実験を行い、太径鉄筋の付着が杭の曲げせん断性状に与える影響を解明する。

9～10年目：高圧縮力下での安全性の検証ができていない免震構造用スベリ支承と高圧縮力および2軸曲げを受ける鉄骨接合部の実大実験を行う。RC系部材の壁や柱については、高強度材料を用いた部材の実験を行う。

社会的価値

東日本大震災だけでなく、首都圏直下地震や東海・東南海地震などの可能性に対する指摘が頻繁になされ、国民全体が地震に対する備えの必要性を強く認識している。その一方で、都市を構成する高層建築は、性能検証のために必要な実大規模での実験検証なしに、縮小モデルによる知見の演繹により設計されている。

本施設は様々な超高層建築物が、かつてない大地震にさらされた場合の安全性を世界初で検証するものである。学術的価値が極めて高い実験データが得られ、これまでの解析技術や評価基準を見直すことで、学術街進に大きく寄与することはもちろんであるが、巨大地震に対しても安全・安心でレジリエントな都市を実現するという、国民の期待に応えるための施設である。

また、ここで行われる研究は、我が国の建設に関わる産業分野での技術革新に繋がるものである。得られる成果としての大地震に対してレジリエントな都市・建築の実現は、我が国の経済・産業の災害耐性の向上に寄与し、日本の国力向上に貢献するものである。また、このことは、我が国の建設業の世界的な競争力をも向上させることになると言える。

本計画に関する連絡先

笠井 和彦（東京工業大学科学技術創成研究院）

次世代統合バイオイメージング研究所の設立計画

① 計画の概要

本計画では、現在の生命科学、物理学、化学、数理情報科学、計算科学等のあらゆる方法を統合的に用いて、生命システムの複雑な動態を「目で見える」ための様々なイメージング・計測技術の開発を行い、免疫、発生・分化、神経回路形成、細胞運動、形態形成など、生命科学の重要課題の解明を目標に据えた研究拠点「次世代統合バイオイメージング研究所」を形成する。学問的・技術的背景の異なる研究者をクロスアポイントメント制度の活用、周辺研究センターとの協力も含めて内外から結集し、生命システムの高次元時空間動態を計測するための光学顕微鏡・電子顕微鏡・磁気共鳴イメージング技術、ロボット化による実験自動高速化、データ解析・モデル化・シミュレーションによる生命動態の予測技術の開発を一体となって推進する。

さらに、さまざまな生命科学データを統合して質的に新しい生命理解とその操作を実現するため、「計算機を通じて見る」データ駆動型生命科学を強力に推進する。イメージングとオミックスの統合解析による動的オミックス、実験によるタンパク質の構造多型データと大規模な分子シミュレーションの統合によるタンパク質の動態解明等の技術開発を行う。

② 目的と実施内容

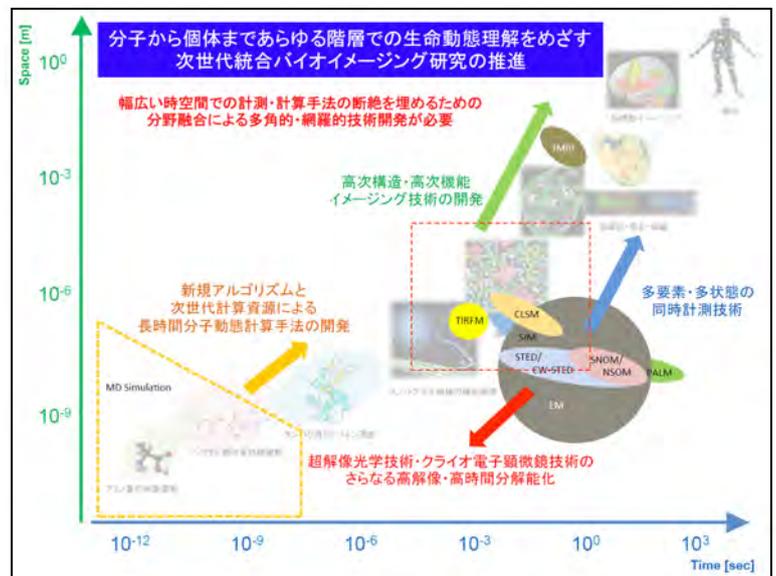
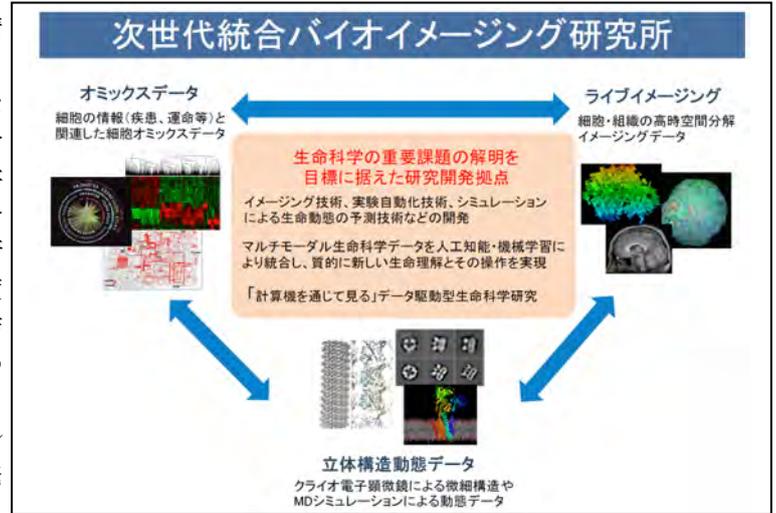
本計画の第一の目的は、多様な分野の研究者を集積し種々のイメージング手法開発を統合的に行うことによる研究開発の促進にある。また多様な手法を集中的に整備し利用体制を整えることでユーザの便宜を図り、医療・創薬等応用研究への一層の展開を図る。さらにこれらのイメージングデータとオミックスデータやシミュレーション結果までを含めたマルチモーダルなデータを統合的に解析する手法を開発し、「目で見える」だけでなく「計算機を通じて見る」新しいデータ駆動型生命科学を推進する。

そのための研究拠点として「次世代統合バイオイメージング研究所」を設立する。学問的・技術的背景の異なる研究者を、クロスアポイントメント制度の活用や周辺研究センターとの協力により内外から結集し、生命システムの高次元時空間動態を計測するための技術開発と、ロボット化による大規模データ取得技術、データ解析・モデル化・シミュレーションによる生命動態の予測技術の開発を一体となって推進する。分子から個体まで多階層にわたる時空間計測データの収集と動態操作を同時に可能にするため、最先端の光学顕微鏡・電子顕微鏡・磁気共鳴イメージング技術等を開発・集中整備し、国際共同利用研究拠点として利用者に広く開放する。

さらに拠点の多様性を活かし、さまざまなモードの生命科学データを統合的に理解して質的に新しい生命理解とその操作を実現するため、データ駆動型生命科学を強力に推進する。イメージングによる動的・非侵襲の計測結果と、オミックスなど細胞の遺伝子・分子レベルでの計測結果の統合的な解析により動的オミックス計測を実現する拠点を形成する。さらに、電子顕微鏡等によるタンパク質の精密な構造多型データやプローブを用いた動的計測結果を、大規模な分子シミュレーションによって動的に結合することにより、タンパク質の動態を解明する技術を開発し創薬等の基盤として提供する。

③ 学術的な意義

例えば再生医療における細胞の分化過程など、近年では生命の動的な振る舞いがより重要になりつつある。イメージングにより生命の動的現象を生きたまま非侵襲で低コストに捉えることができるため、生命科学におけるイメージング技術の重要性は近年著しく増大している。本拠点で複数のイメージング手法を組み合わせることにより、相補的な情報を得て統合的な解析を行うことで、より高次元な情報が得られると期待される。また、近年の超解像光学技術の向上により、遺伝子発現情報等細胞



のマイクロな状態と関連づけ可能なイメージ情報が取得されつつある。イメージング技術の中核にオミックス技術・データ解析技術を集積・統合することで、動的なオミックス状態推定などの新しい技術開発が可能になる。直接的な波及効果として、再生医療での品質管理や細胞診断のスピードアップなどへの貢献が考えられる。

またタンパク質レベルにおいても、電子顕微鏡・FRET等のプローブ・シミュレーションの融合により原子分解能でのタンパク質動態の解明と制御を実現すれば、創薬等への波及は大きいと期待される。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

理化学研究所・生命システム研究センターではイメージングなどの動的データから細胞のオミックス状態を推定するプロジェクト「DECODE (DEcoding Cell from Omics and Dynamic Expression)」をスタートさせた。その実現には実験オートメーション、機械学習・人工知能など応用情報技術の推進が必須であるため、脳科学分野でデコーディング研究を強力に推進する脳情報通信融合研究センター等の研究機関と積極的に連携を進めている。当該計画はこれらの活動を全国規模で統括し発展させるハブ研究拠点の設立を目指す。

海外動向で注目すべきは2015年発足のFrancis Crick Institute (英)である。細胞の理解とその医学応用を目指す世界最先端の生命医科学研究センターで、資本金1000億円、年間予算170億円という財政的な強みと学際的バックグラウンドの研究者間の相互作用による学術的進展は、医学・薬学・工学上の多くの特許として結実が予想され、我が国の研究推進・産業発展に対する大きな障壁とならねない。我が国においても同様の大規模研究拠点の設置が必要不可欠である。

⑤ 実施機関と実施体制

主な実施機関は新設の次世代統合バイオイメージング研究所で、日本生物物理学会がその設立を主導する。これを中核研究機関として国内の関係研究機関と密に連携を取る。例として下記の研究組織が連携機関となる。

(1) 大阪大学大学院 生命機能研究科 生命動態イメージングセンター

光学顕微鏡やクライオ電子顕微鏡を駆使した世界トップレベルのイメージング技術開発・応用の蓄積を元に、最先端バイオイメージング研究を推進する。

(2) 理化学研究所 生命システム研究センター (QBIC)

生命現象をシステムの動態と捉え、最先端計測・高性能計算・再構成技術を連携・循環させて細胞システムの制御原理解明を目指す新たな研究分野を拓き、その基盤形成と拠点整備により国際的に卓越した研究を進め、人材育成と技術革新を推進する。

(3) 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター (CiNet)

脳の機能研究を技術開発シーズとして情報通信技術の枠組みの中で進めていく研究を実施し、ICTの技術課題に対して生命の複雑制御に学んだ解決法を提案し、脳機能の理解を通して知の創造による生産性や競争力の向上を目指す。

⑥ 所要経費

本研究拠点における研究プロジェクトの期間は、準備期間3年+研究実施期間15年間とする。相当数の外国人研究者を含めて、国内外の優れた研究者を研究室主宰者 (PI) として雇用する。PI総数は20-30名とする。外国人研究者をPIとして招聘するために、各研究室の基盤予算を欧米の大型研究室並みにする。18年間の所用経費は総額678億円。

⑦ 年次計画

準備期間 (3年間) 研究所設置の準備を進める。

研究実施期間 (15年間) 研究所長の方針のもと戦略的にプロジェクト研究を推進。

・ 第1期 (1~3年、要素的研究) 分子・細胞の立体構造観察および構造動態計算法、分子から個体に至る多階層イメージング法、システム動態操作法、オミックス大規模データ解析法、イメージング-オミックスデータ統合解析法、超複雑システム動態解析法、システム動態計算法、計測プローブなど、要素技術の開発を実施。

・ 第2期 (4~10年、融合的研究) 要素技術の融合を図り革新的な技術開発を進めつつ、生命科学の重要課題についてイメージングやオミックスデータ解析に基づいたモデル化と動態予測技術の開発を進め、創薬や医療への応用へつなげる。

・ 第3期 (11~15年、発展的研究) モデル化と動態予測に基づいて生命システムの操作を実現し、超複雑な生命システムの動作原理、構築原理を明らかにすると共に、設計のための基盤技術を開発し、創薬や再生医療等への応用展開を図る。

・ 研究開始後15年で研究実施内容の最終評価を行なう。

⑧ 社会的価値

本計画は、生命科学で広く利用されているバイオイメージングにおいて革新的次世代技術の開発を目指すものであり、最も基盤的な生命科学の基礎研究である。生命科学分野では基礎研究が直接的に応用研究に結びつく可能性が高く、当初から応用を目指した研究よりも根源的で応用範囲の広い成果に結びつくことが多い。本計画を強力に推進し細胞内の分子ネットワーク動態の超精密計測とその数理モデル化が可能になれば、がん・免疫疾患・循環器疾患など高次生命システムの破綻による病態発生の解明や、細胞動態の操作・摂動による細胞の状態変化の予測と対処、即ち予測医療を実現できる可能性がある。また、iPS細胞や幹細胞の初期化メカニズムの解明による分化制御の向上や臓器再生医療における治療効率の向上、副作用のない新薬創生戦略、老化問題への対処など、医学・生命科学全般への応用展開が期待でき、人類の健康と福祉、国民の安心・安全に直結した問題の解決に大きく貢献することは間違いない。

⑨ 本計画に関する連絡先

難波 啓一 (大阪大学 大学院 生命機能研究科)